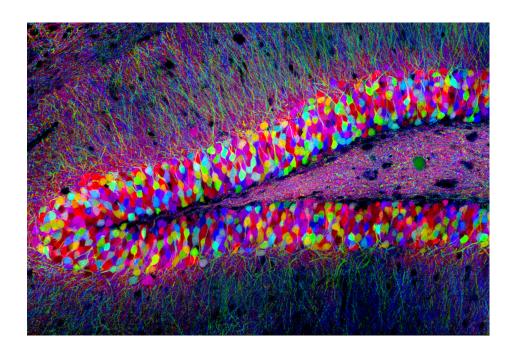
Les allées des neurosciences: neuronal, cérébral, mental

Séance d'introduction aux neurosciences



Pierre-Antoine Vigneron et Charlotte Piette



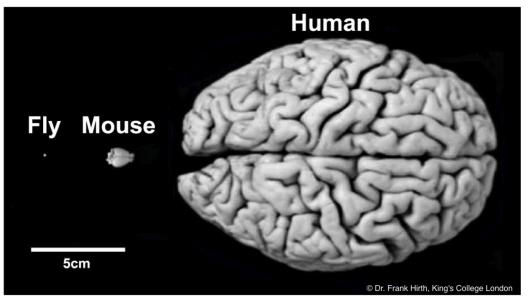
Les échelles spatiales et temporelles

| ~ 10 cm | Cerveau entier | |
|---------------|-----------------------------------|--|
| ~ 1 cm | Aire cérébrale | |
| 100 μm – 1 mm | Circuit local / colonne corticale | |
| 10 μm – 1 mm | Neurone | |
| 100 nm – 1 μm | Compartiments subcellulaires | |
| ~ 10 nm | Canal ionique, récepteur, etc. | |

| Jours - années | Mémoire à long-terme | |
|--------------------|--------------------------------------------------------|--|
| Secondes - minutes | Mémoire à court terme (mémoire de travail) | |
| 100 ms – 1 s | Echelle de temps des comportements / temps de réaction | |
| ~ 10 ms | Echelle de temps synaptique / neuronale | |
| ~ 1 ms | Durée d'un potentiel d'action / temps de propagation | |
| < 1 ms | Ouverture et fermeture des canaux | |

Le cerveau humain:

- 1300 grammes
- 100 milliards de neurones (10^{11})
- 100 trilliards de synapses (10¹⁴)

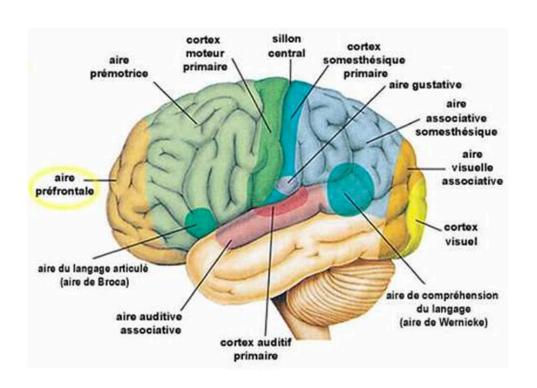


La mouche: 250 000 neurones

La souris: 71 000 000 neurones

(Frank Hirth, King's College, London)

A l'échelle d'un cerveau entier...



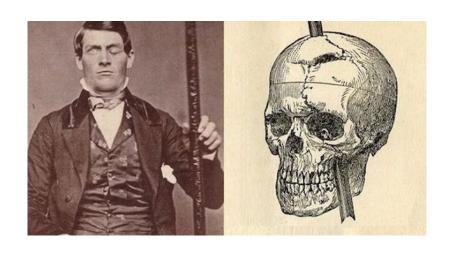


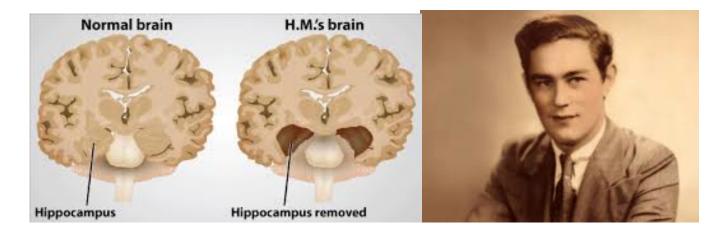
(Essential of Anatomy and Physiology)

Des « subdivisions » fonctionnelles et connectées

(théorie modulaire de l'esprit)

A l'échelle d'un cerveau entier...

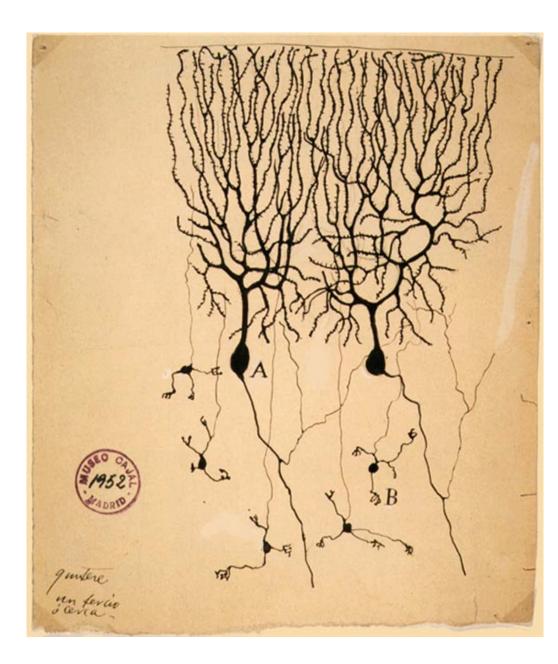




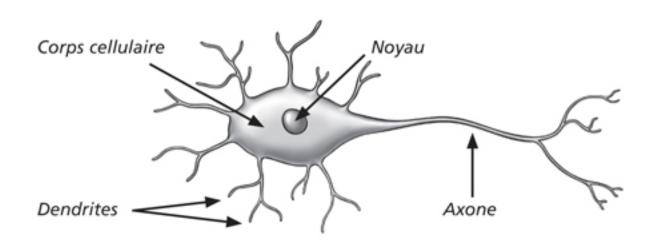
Exemple du cortex préfrontal et de l'hippocampe

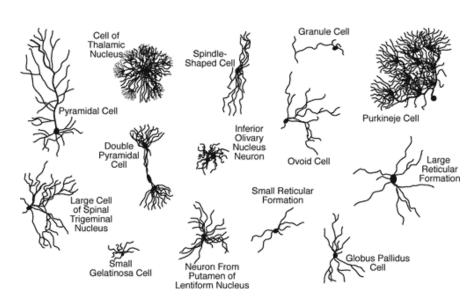
L'échelle neuronale

Cajal: le **Neurone** comme **unité** structurale et fonctionnelle



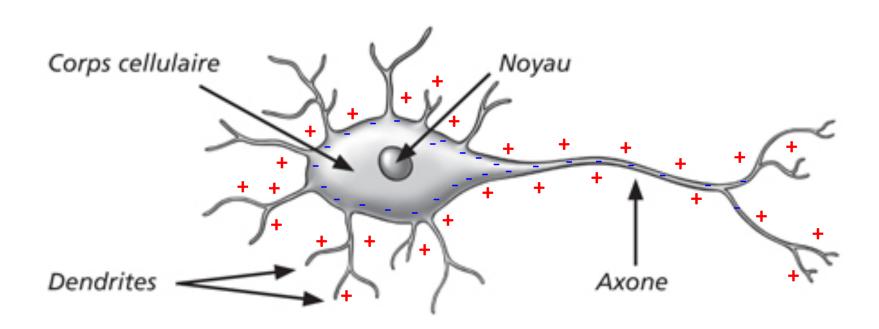
L'échelle neuronale: unité et diversité





(Masland et al., Current Biology, 2004)

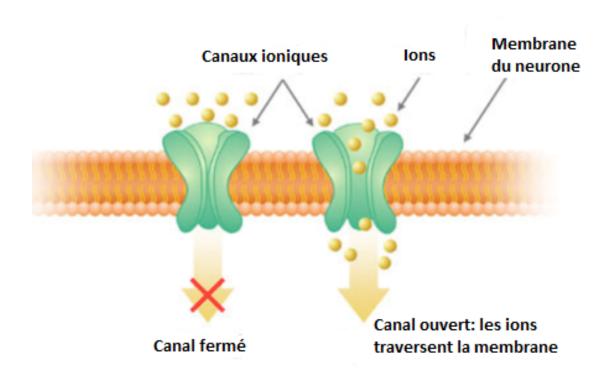
L'échelle neuronale: activité électrique



Au « repos », le neurone est polarisé électriquement

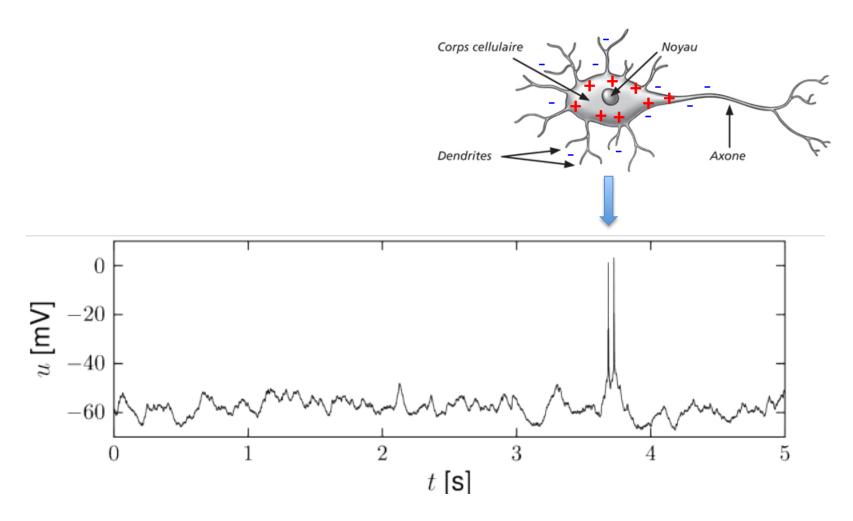
L'échelle neuronale: activité électrique

Cette polarité électrique due à la présence de « canaux » laissant passer des ions à travers la membrane du neurone...



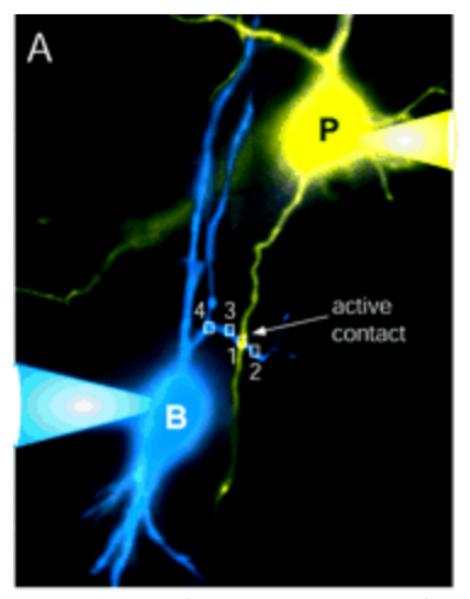
... et l'activité de certains canaux peut conduire à des changements transients de polarité

L'échelle neuronale: activité électrique



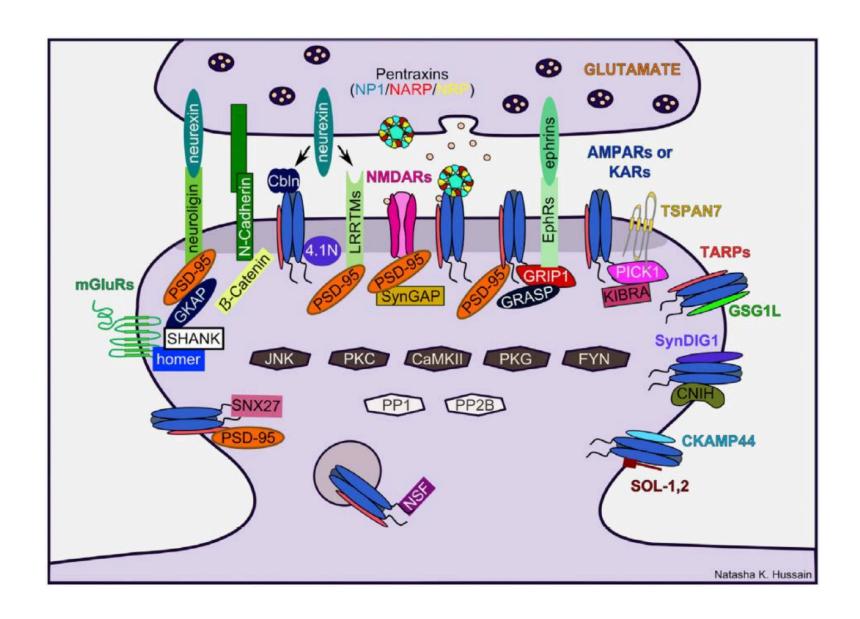
Activité spontanée d'un neurone du cortex somatosensoriel in vivo (Crochet and Petersen, Nat Neuroscience, 2006)

De l'échelle neuronale à la synapse...

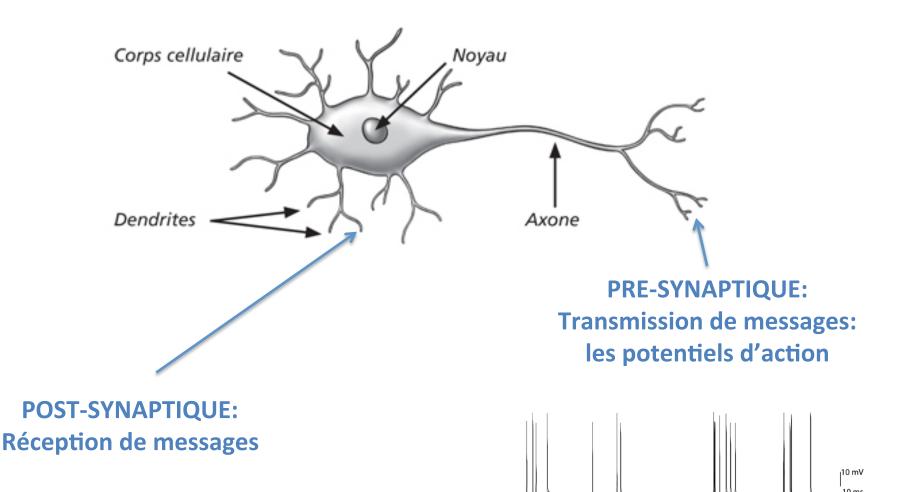


(Kaiser et al. J. Neuro., 2004)

Que se passe-t-il à la synapse ?

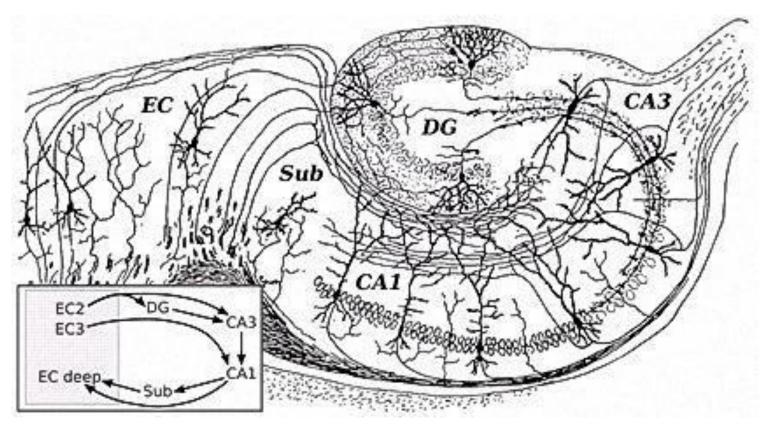


Des synapses à l'échelle neuronale...



Un code neuronal?

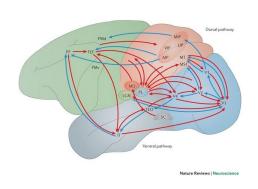
Vers l'échelle des circuits neuronaux



(Cajal, 1911)

L'exemple de l'hippocampe

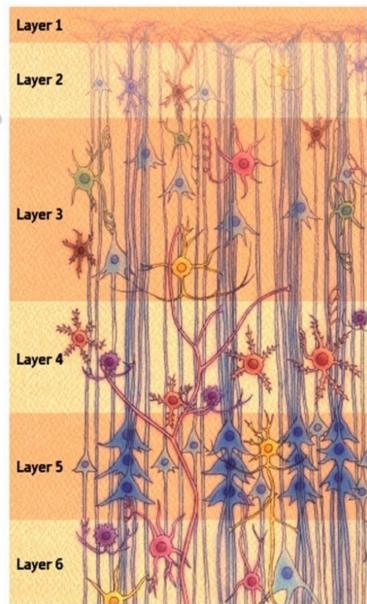
Vers l'échelle des circuits neuronaux



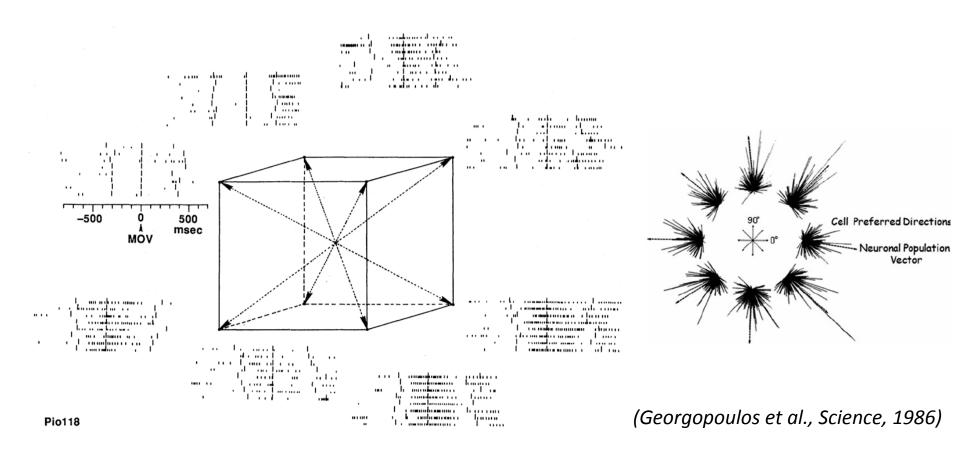


- Equilibre entre **excitation et inhibition**
- **Géométrie** et motifs de connectivités (divergence, convergence, feedback, etc.)
- Traitement spécifique de l'information (exemple: codage épars vs. dense)

L'exemple du cortex

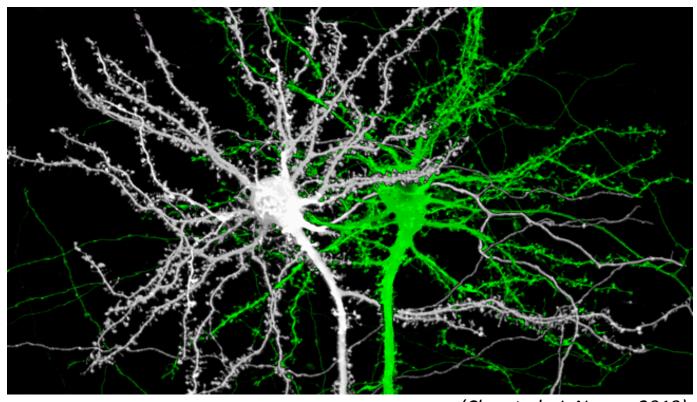


Echelle des circuits: relation structure-fonction

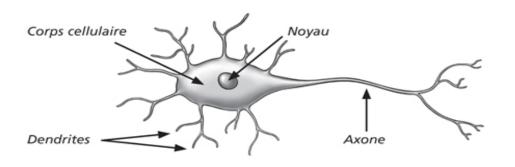


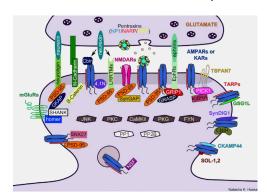
Réponse d'un neurone individuel du cortex moteur de singe au cours d'un mouvement du bras dirigé vers une cible

La plasticité: des structures dynamiques



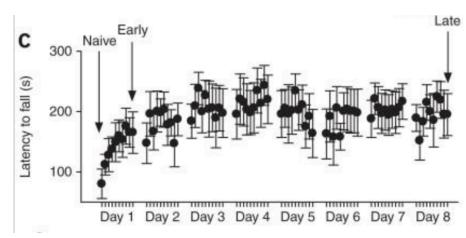
(Cho et al., J. Neuro, 2013)





La plasticité: apprentissage et mémoire

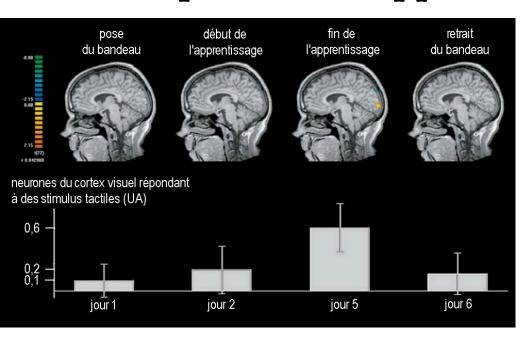




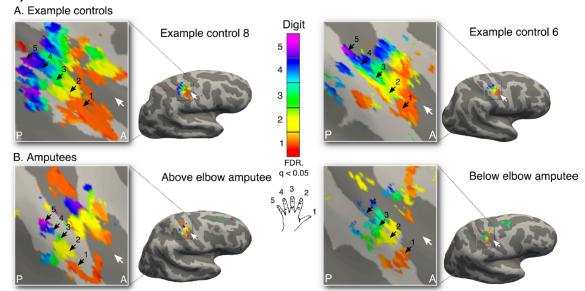
(Yin et al., Nat. Neuroscience, 2009)

Un exemple de mémoire procédurale associée à des changements d'activité dans une région sous-corticale: le striatum

La plasticité: apprentissage et mémoire



(Adapté de Alvaro Pascual-Leone et al., 1993)



(Kikkert et al., 2017)

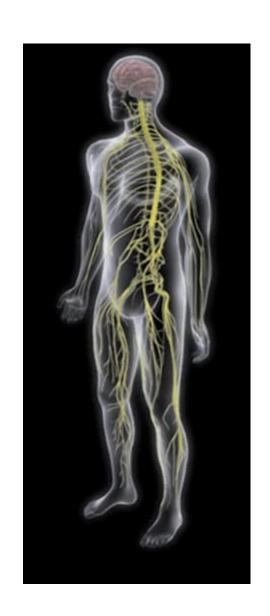
Retour à l'échelle de l'individu



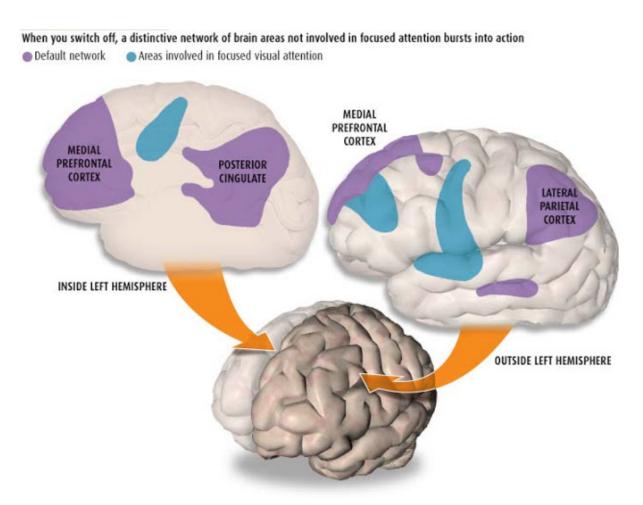
Schème souvent étudié en neurosciences intégratives

Stimulus sensoriel -> Cerveau -> Action

Bien plus est réalisé par notre cerveau...



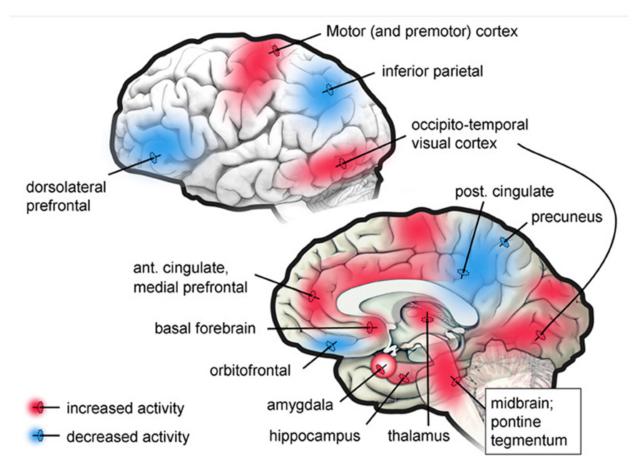
Le cerveau et le soi



Le réseau par défaut

(Adapted from Raichle et al., 2007)

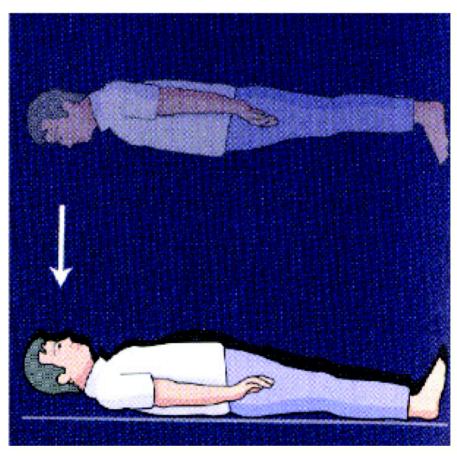
Le cerveau et le soi



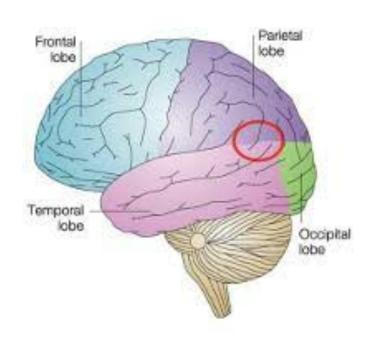
(David Kahn, Frontiers in Psychology, 2013)

L'expression du soi pendant les rêves

Le cerveau et le soi



(Blanke et al., 2005)



Les expériences de hors-corps

Les outils d'études

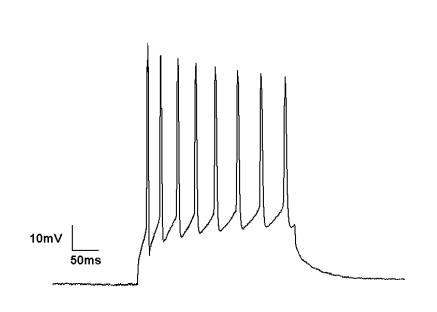
 Echelle neuronale: enregistrements intra/extracellulaire de l'activité électrique des neurones, imagerie dynamique

 Echelle cérébrale: EEG, IRMf, électrodes implantées chez des patients en clinique

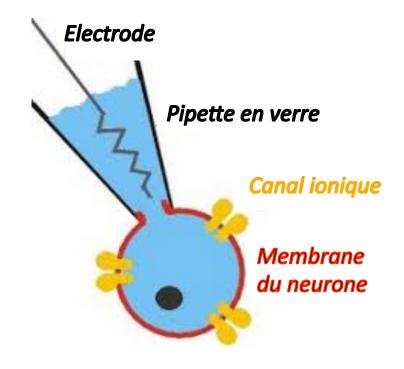
- **Et le mental?** Psychanalyse, psychologie cognitive

Mesurer l'activité électrique des neurones

Le patch-clamp, un outil fondateur

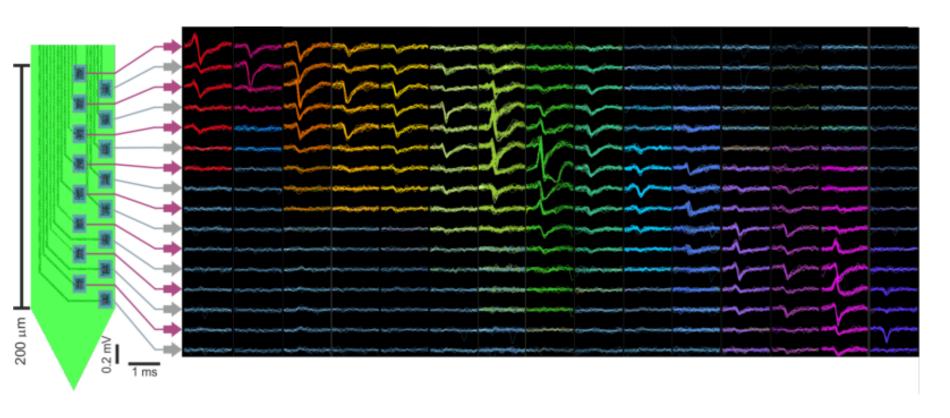






Mesurer l'activité électrique des neurones

Une sonde insérée dans le cerveau, à proximité des neurones

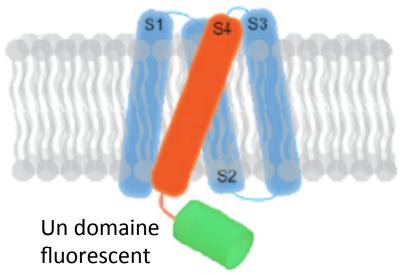


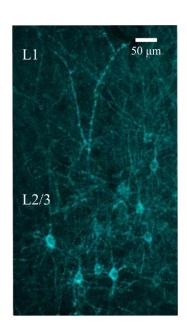
Avec plusieurs sites d'enregistrement

Mesurer l'activité électrique des neurones

Nouvelle génération d'outils : les protéines sensibles au voltage

Un domaine sensible au changement de voltage





En mesurant la fluorescence émise par plusieurs neurones simultanément, on a accès à leurs variations de voltage!

Mesurer l'activité d'un cerveau entier

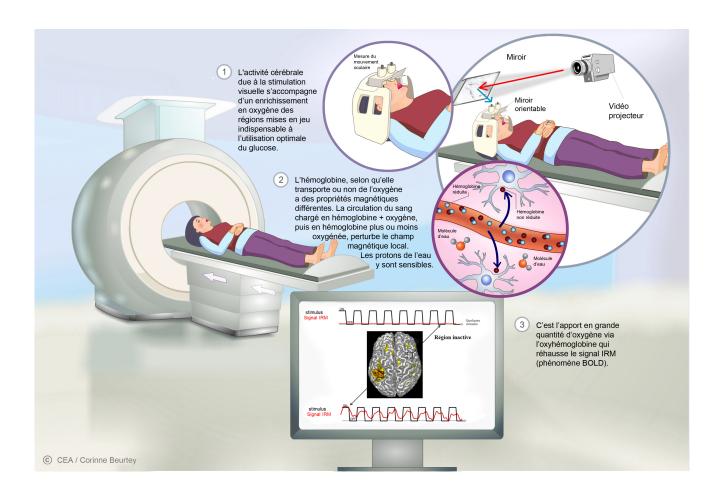
L'électro-encéphalogramme

| CARACTERISTIQUES | EVEX. | S. LENT (adulte) S. CALME (nouveau-né) | S. PARADOXAL (adulte) S. AGITE (nouveau-né) |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Activité cérébrale (Decroenosphalogramme) | Activité rapide | S. lent léger S. lent protond (1+2) (3+4) Activité de plus en plus lente et ample | Activité rapide |
| Mouvements oculaires (Electro-oculogramme) | Veux ouverts, mouvements oculaires rapides | Yeux fermés, pas de mouvement oculaire | Yeux fermés, mouvements coulaires rapides |
| Tonus musculaire | Tonus musculaire important | Tonus musculaire réduit | Tonus musculaire absent. Paralysie |
| Electrocardiogramme | Rapide, régulier | AAAAA Lent, régulier | Rapide, irrégulier |



Mesurer l'activité d'un cerveau entier

L'imagerie à résonance magnétique fonctionnelle (IRM-f)

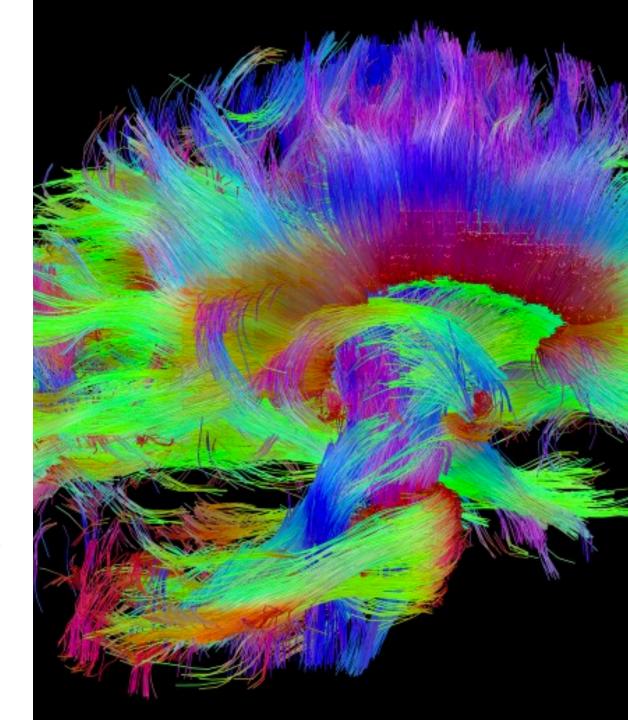


Merci de votre attention

Prochain rendez-vous: Mercredi 8 novembre 19h-20h30 - Salle 513

Yves Boubenec

« Arrivera-t-on un jour à comprendre le cerveau d'un furet? »



Références

- Purves et al., *Neuroscience*, Sinauer, 2011
- Purves et al., *Neurosciences*, De Boeck, 2015
- Dayan and Abbott, *Theoretical Neuroscience*, MIT Press, 2001